



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ - CERTIFICAT D'ADDITION

COPIE OFFICIELLE

Le Directeur général de l'Institut national de la propriété industrielle certifie que le document ci-annexé est la copie certifiée conforme d'une demande de titre de propriété industrielle déposée à l'Institut.

Fait à Paris, le 26 NOV. 2003

Pour le Directeur général de l'Institut
national de la propriété industrielle
Le Chef du Département des brevets

Martine PLANCHE

DOCUMENT DE PRIORITÉ

PRÉSENTÉ OU TRANSMIS
CONFORMÉMENT À LA
RÈGLE 17.1.a) OU b)

INSTITUT
NATIONAL DE
LA PROPRIÉTÉ
INDUSTRIELLE

SIEGE
26 bis, rue de Saint Petersburg
75800 PARIS cedex 08
Téléphone : 33 (0)1 53 04 53 04
Télécopie : 33 (0)1 53 04 45 23
www.inpi.fr



Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DS 540 W / 010801

<p>REMISE DES PIÈCES DATE</p> <p>21 NOV 2002</p> <p>1^{er} D'ENREGISTREMENT NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI 0214603</p> <p>DATE DE DÉPÔT ATTRIBUÉE PAR L'INPI 21 NOV. 2002</p>		<p><input checked="" type="checkbox"/> NOM ET ADRESSE DU DEMANDEUR OU DU MANDATAIRE À QUI LA CORRESPONDANCE DOIT ÊTRE ADRESSÉE</p> <p>Cabinet BARRE LAFORGUE & associés 95, rue des Amidonniers 31000 TOULOUSE</p>	
<p>Vos références pour ce dossier (facultatif) DE 1463-BF10116K1 VG/MCN</p>			

<p>Confirmation d'un dépôt par télécopie</p> <p><input type="checkbox"/> N° attribué par l'INPI à la télécopie</p>	
<p><input checked="" type="checkbox"/> NATURE DE LA DEMANDE</p> <p>Cochez l'une des 4 cases suivantes</p>	
<p>Demande de brevet</p> <p>Demande de certificat d'utilité</p> <p>Demande divisionnaire</p> <p>Demande de brevet initiale</p> <p>ou demande de certificat d'utilité initiale</p> <p>Transformation d'une demande de brevet européen Demande de brevet initiale</p>	<p><input checked="" type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p><input type="checkbox"/></p> <p>N°</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Date</p>

<p><input checked="" type="checkbox"/> TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)</p> <p>PROCEDE DE FABRICATION, NOTAMMENT A FROID, D'UN ENROBE, ET ENROBE OBTENU PAR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCEDE.</p>	
--	--

<p><input checked="" type="checkbox"/> DÉCLARATION DE PRIORITÉ OU REQUÊTE DU BÉNÉFICE DE LA DATE DE DÉPÔT D'UNE DEMANDE ANTÉRIEURE FRANÇAISE</p>		<p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p>Pays ou organisation</p> <p>Date</p> <p>N°</p> <p><input type="checkbox"/> S'il y a d'autres priorités, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p>	
<p><input checked="" type="checkbox"/> DEMANDEUR (Cochez l'une des 2 cases)</p>		<p><input checked="" type="checkbox"/> Personne morale <input type="checkbox"/> Personne physique</p>	
<p>Nom ou dénomination sociale</p> <p>Prénoms</p> <p>Forme juridique</p> <p>N° SIREN</p> <p>Code APE-NAF</p>		<p>DEMETER TECHNOLOGIES</p> <p>Société anonyme</p> <p>423101294</p> <p></p>	
<p>Domicile ou siège</p>		<p>Rue</p> <p>Code postal et ville</p> <p>Pays</p>	
<p>Nationalité</p> <p>N° de téléphone (facultatif)</p> <p>Adresse électronique (facultatif)</p>		<p>31 avenue de Larrieu</p> <p>31081 TOULOUSE CEDEX</p> <p>FRANCE</p> <p>Française</p> <p>N° de télécopie (facultatif)</p>	
<p><input type="checkbox"/> S'il y a plus d'un demandeur, cochez la case et utilisez l'imprimé «Suite»</p>			

**BREVET D'INVENTION
CERTIFICAT D'UTILITÉ**

REQUÊTE EN DÉLIVRANCE
page 2/2



Réservé à l'INPI

REMISE DES PIÈCES
DATE

JEU **21 NOV 2002**

N° D'ENREGISTREMENT **31 INPI TOULOUSE**

NATIONAL ATTRIBUÉ PAR L'INPI

0214603

DB 540 W / 010801

Vos références pour ce dossier :
(facultatif)

DE1463-BF10116K1 VG/MCN

16 MANDATAIRE (N° 115 à 119)

Nom

Prénom

Cabinet ou Société

Cabinet BARRE LAFORGUE & associés

N° de pouvoir permanent et/ou
de lien contractuel

Adresse

Rue

95, rue des Amidonniers

Code postal et ville

31000 TOULOUSE

Pays

FRANCE

N° de téléphone (facultatif)

05 61 21 08 67

N° de télécopie (facultatif)

05 61 22 79 23

Adresse électronique (facultatif)

7 INVENTEUR(S)

Les inventeurs sont nécessairement des personnes physiques

Les demandeurs et les inventeurs
sont les mêmes personnes

☐ Oui

☒ Non : **Dans ce cas remplir le formulaire de Désignation d'inventeur(s)**

8 RAPPORT DE RECHERCHE

Uniquement pour une demande de brevet (y compris division et transformation)

Établissement immédiat
ou établissement différé

☒

☐

Paiement échelonné de la redevance
(en deux versements)

Uniquement pour les personnes physiques effectuant elles-mêmes leur propre dépôt

☐ Oui

☐ Non

**9 RÉDUCTION DU TAUX
DES REDEVANCES**

Uniquement pour les personnes physiques

☐ Requête pour la première fois pour cette invention (joindre un avis de non-imposition)

☐ Obtenue antérieurement à ce dépôt pour cette invention (joindre une copie de la décision d'admission à l'assistance gratuite ou indiquer sa référence) : **AG**

Si vous avez utilisé l'imprimé «Suite»,
indiquez le nombre de pages jointes

**10 SIGNATURE DU DEMANDEUR
OU DU MANDATAIRE**
(Nom et qualité du signataire)
Le Mandataire

**CABINET
BARRE LAFORGUE
& associés**

PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE EN FRANCE ET À L'ÉTRANGER
45, rue des amidonniers 31000 TOULOUSE

**VISA DE LA PRÉFECTURE
OU DE L'INPI**

Camille SAILHAN CPI N° 92.1219

PROCEDE DE FABRICATION, NOTAMMENT A FROID, D'UN ENROBE,
ET ENROBE OBTENU PAR LA MISE EN OEUVRE DE CE PROCEDE

L'invention concerne un procédé de fabrication d'un matériau
5 routier granulaire enrobé, pour couche de roulement, de base ou de fondation, ainsi que
le matériau routier obtenu par la mise en œuvre de ce procédé. Elle concerne plus
particulièrement un procédé de fabrication à froid d'un matériau, dit enrobé,
comprenant à la fois un liant organique et un liant minéral.

Chaque couche d'une chaussée est constituée principalement de
10 granulats, dont le rôle est de former un squelette solide résistant aux sollicitations du
trafic, et d'au moins un liant assurant la cohésion de ce squelette, dont le choix
détermine les caractéristiques de la couche.

La difficulté du choix du liant et des granulats provient de ce que
cohabitent, dans chaque couche d'une chaussée, des exigences complémentaires et
15 antagonistes relatives respectivement à la rigidité et à la flexibilité de la couche,
indispensables pour obtenir une réalisation durable : dans le cas d'une couche de
roulement, résistance à l'orniérage et au fluage, mais aussi souplesse, confort des
usagers, adhérence des véhicules, résistance au désenrobage et au plumage ; dans le cas
d'une couche de structure (couche de fondation ou de base), portance, résistance à la
20 traction, mais aussi capacité de déformation ; dans tous les cas, résistance à la fatigue et
à la fissuration, compacité, cohésion, homogénéité, durabilité, étanchéité, maniabilité
du matériau au cours des opérations de préparation et de manutention (malaxage,
transport, épandage, compactage...).

On connaît, premièrement, les matériaux routiers, dits enrobés, à
25 base de liant(s) hydrocarboné(s). De tels enrobés hydrocarbonés présentent l'avantage
d'avoir une capacité de déformation relativement élevée, et par conséquent une grande
résistance à la fissuration, au détriment de leur rigidité. Deux techniques principales
existent pour leur réalisation : la technique des enrobés hydrocarbonés à chaud et celle
des enrobés hydrocarbonés à froid.

Les techniques à chaud, et notamment les techniques d'enrobage à chaud au bitume pur, sont parfaitement maîtrisées et permettent d'obtenir des mélanges stables, présentant de bonnes caractéristiques mécaniques et d'autres qualités telles que : adhésivité du bitume, étanchéité, souplesse, confort et adhérence (texture) de l'enrobé. Une telle performance est cependant obtenue au prix d'une forte consommation d'énergie et d'une mise en œuvre très contraignante (complexité des matériels utilisés et des modes opératoires mis en œuvre), et au détriment de l'environnement (risque important de pollution de l'eau, de l'air...) et de la sécurité des personnes impliquées dans la fabrication et l'épandage de ces enrobés (température élevée -de 140°C à 170°C- des matériaux, fumées, dosage en bitume important...). Elle repose de plus sur des fragilités : relative sensibilité des chaussées obtenues aux sollicitations du trafic (phénomènes de ressuage, de plumage, d'orniérage et de fluage), qui conduit à rechercher une plus grande sophistication des bitumes (modifiés par des polymères), des additifs et des granulats, au détriment de l'économie ; disponibilité décroissante (et donc coût croissant) de la ressource ; vieillissement du bitume.

Les techniques à froid ont pendant longtemps consisté à enrober des granulats à l'aide de liants anhydres très fluides, souvent à base de bitume fluidifié ou de goudron et d'huiles issues de la distillation des brais de houilles. Plus récemment, ces liants anhydres ont été remplacés par des émulsions de bitume (phase aqueuse continue constituée essentiellement d'eau et d'agent émulsifiant, dans laquelle sont dispersées de fines particules d'une phase hydrocarbonée constituée par du bitume pur ou fluxé ou fluidifié notamment à l'aide de solvants pétroliers). Antérieures aux techniques à chaud mais rapidement supplantées par celles-ci, les techniques à froid souffrent de plusieurs inconvénients : faible tenue de l'enrobé au jeune âge, du fait d'une évacuation aléatoire de l'eau excédentaire et/ou d'une évaporation lente des solvants ou fluidifiants (souvent aromatiques) utilisés ; caractéristiques mécaniques insuffisantes pour des routes d'important trafic ; résultats peu homogènes. Pour ces raisons, l'utilisation des techniques à froid est aujourd'hui limitée aux petites réparations d'urgence (trous, nids de poule, bouchage provisoire des tranchées...) et aux chaussées de faible trafic. Peu utilisées, ces techniques sont mal maîtrisées. Elles

présentent pourtant de nombreux avantages, notamment lorsqu'elles utilisent une émulsion de bitume : simplicité de mise en œuvre, souplesse d'utilisation, maniabilité à température ambiante et rusticité de l'enrobé, coût réduit, respect de l'environnement.

Une volonté de remettre les techniques à froid au goût du jour est née récemment d'un souci croissant de protection de l'environnement. Et des procédés ont été proposés pour tenter de pallier certains des inconvénients de ces techniques. Ainsi, FR 2.623.219 vise à résoudre les problèmes de stockage des enrobés bitumineux en proposant un procédé consistant à enrober préalablement des éléments fins 0/2 ou 0/4 avec une émulsion cationique de bitume mou (très faible viscosité) à rupture lente, en vue d'obtenir un matériau intermédiaire pouvant être stocké destiné à être mélangé ultérieurement à des granulats 2/D ou 4/D en cours ou en fin d'enrobage par une émulsion cationique de bitume dur (grande viscosité) fluxé ou fluidifié, le matériau final obtenu pouvant également être stocké. En vue de réduire les coûts de production, EP 781.887 propose de simplifier le procédé précédent, et notamment de supprimer l'étape de mûrissement ou de stockage du matériau intermédiaire, en introduisant les gros éléments 2/D dans un malaxeur avec une première émulsion à rupture moyenne d'un bitume pur de grade 25/35 (bitume dur) à 180/220 ou d'un bitume fluidifié, puis en y ajoutant les éléments fins 0/2 à 0/6 puis une seconde émulsion stabilisée (rupture lente) de faible viscosité obtenue par mélange de la première émulsion avec un agent cationique aqueux. Par ailleurs, en vue d'améliorer la rigidité des enrobés bitumineux, US 5.582.639 vise à permettre l'utilisation d'une émulsion d'un bitume dur -dont la rupture doit intervenir avant transport et épandage de l'enrobé en vue d'éviter les problèmes de "lavage" de l'enrobé-, tout en conservant la maniabilité des enrobés à émulsion de bitume mou (qui ne peut être utilisée que pour des chaussées de faible trafic du fait de la faible rigidité qu'elle confère à l'enrobé). US 5.582.639 présume que l'enrobé reste maniable tant que les éléments fins ne sont pas liés par un bitume dur, et ce, que les cailloux (ou gravillons) n'aient été ou non déjà enrobés par un bitume dur, et propose donc un procédé selon lequel on enrobe préalablement les cailloux au moyen d'une première émulsion à rupture rapide d'un bitume dur, puis on ajoute au mélange, après rupture de la première émulsion, les éléments fins ainsi qu'une seconde émulsion

d'un bitume mou dont la rupture intervient en fin de procédé. Selon l'enseignement de ce brevet, après épandage de l'enrobé, une migration entre le bitume dur (de grande viscosité) enveloppant les cailloux et le bitume mou (de faible viscosité) s'opère pour former un liant de viscosité moyenne. La rigidité et la résistance à la fatigue des enrobés obtenus par ces divers procédés à froid restent cependant insuffisantes pour
 5 permettre leur application à des couches de roulement d'important trafic. De plus, ces procédés n'ont pas permis de réduire significativement la consommation en liant hydrocarboné. Cet objectif est pourtant prioritaire pour des raisons économiques et écologiques évidentes.

10 On connaît, deuxièmement, les matériaux routiers à base de liant(s) hydraulique(s). La grande rigidité des matériaux hydrauliques constitue à la fois leur principale qualité (ils sont appréciés, pour cette raison, pour la réalisation de couche de base ou de fondation) et leur principal défaut : module de rigidité élevée qui se traduit, d'une part, par un manque de confort et d'adhérence lorsque ces matériaux
 15 sont utilisés pour des couches de roulement, et d'autre part, par l'apparition de fissures de fatigue (faïençage) sous l'effet des sollicitations dynamiques du trafic. S'ajoute à cela des phénomènes de retrait hydraulique lors de la prise du liant et de retrait thermique, également responsables de l'apparition de fissures. En revanche, leur insensibilité à la température les préserve des phénomènes de fluage et d'orniérage dont
 20 souffrent les enrobés hydrocarbonés (les bitumes sont en effet sensibles aux variations de température : fragiles à froid du fait d'une rigidité accrue, ils deviennent trop mous à chaud).

Compte tenu des qualités et défauts respectifs des enrobés hydrocarbonés et des matériaux hydrauliques, des techniques qualifiées de mixtes, 25 mêlant liant(s) hydraulique(s) et liant(s) hydrocarboné(s) au sein d'un même matériau routier, se sont récemment développées. Ces techniques mixtes tentent de répondre aux exigences contraires et incompatibles des revêtements routiers telles que, d'une part, l'absence de fissuration, la souplesse, le confort, la résistance à la fatigue, au désenrobage et au plumage, généralement apportés par les liants hydrocarbonés, et,

d'autre part, la portance, la faible déformation, la résistance au fluage et à l'orniérage, généralement apportées par les liants hydrauliques.

Ainsi, EP 545.740 décrit un procédé de double traitement à froid d'un matériau granulaire selon lequel : on prépare un pré-mélange d'un matériau granulaire (0/20 par exemple) et d'un premier liant hydraulique ou hydrocarboné, de préférence hydraulique, contenant le cas échéant des agents tensioactifs ; on transfère ce pré-mélange dans un malaxeur, dans lequel on ajoute un second liant hydrocarboné ou hydraulique, de préférence hydrocarboné. EP 535.282 décrit un liant composite comprenant une émulsion aqueuse d'un liant hydrocarboné, un liant hydraulique, un adjuvant destiné à maîtriser la vitesse de prise du liant hydraulique afin d'obtenir un produit liquide de viscosité inférieure à 1 Pa.s.. FR 2.705.662 décrit un enrobé à froid formé d'un squelette minéral (0/20 par exemple) associé à un liant résultant du mélange d'un liant hydraulique et d'un liant hydrocarboné comportant un bitume traité par des amines à chaînes courtes, un ou plusieurs surfactant(s) cationique(s), un ou plusieurs acide(s).

Les techniques mixtes fournissent des résultats certes encourageants, mais encore insatisfaisants et inégaux. Les enrobés obtenus s'apparentent, selon les dosages utilisés, soit à des matériaux hydrauliques dont la souplesse est améliorée sans pour autant être suffisante et comparable à celle des enrobés hydrocarbonés, soit à des enrobés hydrocarbonés dont la rigidité est augmentée mais reste trop faible pour certaines utilisations. De plus, il semble qu'intervienne une "compensation" partielle des effets respectifs des deux types de liant, qui oblige à maintenir des dosages encore importants en liants et explique que le développement des techniques mixtes n'a pas permis, à ce jour, de réaliser des économies substantielles sur les quantités de liants utilisées. Reste également à définir et mettre en place des protocoles de fabrication simples, économiques et faciles à maîtriser, pour permettre d'envisager la généralisation et la systématisation de ces techniques.

L'invention vise à proposer un procédé de fabrication d'un matériau routier granulaire enrobé à base de liant(s) hydraulique(s) ou autre(s) liant(s)

minéral(aux), et de liant(s) hydrocarboné(s) ou autre(s) liant(s) organique(s), qui soit simple, économique, et qui conduise à l'obtention d'un enrobé aux caractéristiques mécaniques améliorées.

En particulier, un objectif de l'invention est de proposer un enrobé routier ayant une flexibilité convenable et une meilleure résistance à la fissuration, à la fatigue et au plumage, et, parallèlement, une portance et une résistance à l'orniérage et au fluage accrues.

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé de fabrication d'un enrobé à froid, qui conserve les avantages des techniques d'enrobage à froid notamment à l'émulsion de bitume (simplicité, souplesse d'utilisation, économie et protection de l'environnement) et intègre ceux des techniques d'enrobage à chaud au bitume pur (étanchéité, adhérence, souplesse, confort, rugosité, capacité à recevoir un trafic immédiat et bonnes caractéristiques mécaniques des enrobés obtenus). L'invention vise également à fournir un matériau routier de grande maniabilité.

Un autre objectif de l'invention est de proposer un procédé respectueux de l'environnement, utilisant des quantités réduites de liants (minéral(aux) et organique(s)), par souci d'économie, de protection de l'environnement et de sécurité des personnes.

Pour ce faire, l'invention concerne un procédé de fabrication d'un matériau routier granulaire enrobé, utilisant au moins un liant organique et au moins un liant minéral, caractérisé en ce que :

- on utilise au moins deux fractions granulaires distinctes, une première fraction, dite fraction granulaire grossière, constituée de granulats moyens et/ou gros, et une deuxième fraction, dite fraction granulaire fine, constituée de granulats fins,

- on enrobe les granulats de la fraction granulaire grossière avec le liant organique, de façon à former une première phase, dite phase grossière organique, le terme "enrober" signifiant que l'on mélange les granulats et le liant jusqu'à ce que chaque granulat soit enveloppé au moins partiellement, et de préférence totalement, d'un film de liant organique ;

- on mélange les granulats de la fraction granulaire fine avec le liant minéral et avec une quantité d'eau d'apport, de façon à former une deuxième phase, dite phase fine minérale,

5 - on mélange la phase grossière organique et la phase fine minérale pour obtenir un matériau prêt à l'épandage ou au stockage. A noter que la phase fine minérale et le matériau obtenu peuvent être stockés et/ou manipulés (et notamment, concernant le matériau final, transporté, répandu sur le sol à couvrir et compacté) tant que la prise du liant minéral n'est pas intervenue. Un retardateur de prise du liant minéral peut avantageusement être ajouté au liant minéral ou à la phase
10 fine minérale en cas de stockage prolongé du matériau ou de ladite phase fine minérale.

L'invention consiste donc à préparer séparément une phase grossière organique et une phase fine minérale, puis à mélanger ces dernières. Le liant organique est par conséquent déjà fixé sur les gravillons (le terme "gravillons" désignant, dans toute la suite, les granulats de la fraction granulaire grossière) lors du
15 mélange des deux phases, de sorte qu'il n'est pas "absorbé" par la phase fine minérale (mortier sableux). L'inventeur pense, a posteriori, que la prise du liant minéral se traduit par la formation d'agglomérats de mortier durci (granulats fins + liant minéral) venant combler les vides entre les gravillons enrobés, de sorte que les deux liants ne se mélangent pas (contrairement à l'effet recherché par US 5.582.639, aux principes de
20 base de EP 535.282 ou FR 2.705.662, et aux résultats fournis par l'ensemble des procédés antérieurs). La phase fine minérale et la phase grossière organique coexistent et coopèrent sans se mêler l'une à l'autre, liées entre elles par un film souple organique (tel qu'un film de bitume). (A noter toutefois qu'une très légère imprégnation des agglomérats de mortier par le liant organique peut être souhaitée, et obtenue avec un
25 excès de liant organique, pour des raisons expliquées plus loin.)

On obtient ainsi un squelette minéral particulièrement dense formé de gravillons et d'agglomérats de mortier durci, dont la cohésion est assurée par le liant souple organique. Le matériau résultant est à la fois étonnamment rigide et souple. La rigidité, la portance et la résistance à l'orniérage sont apportées par la
30 densité du squelette minéral (très faible pourcentage de vide, les espaces entre les

gravillons étant comblés par le mortier) et la présence d'agglomérats de mortier durci (dont le module de rigidité est très élevé). Les ensembles compacts (gravillons et agglomérats de mortier) formant le squelette minéral sont liés de façon élastique telles des articulations (effet rotule) par un film organique, qui confère cohésion, souplesse, 5 déformabilité et résistance à la fatigue au matériau résultant, s'oppose à la remontée des fissures, et présente, de par sa finesse, une faible sensibilité aux variations de température. Chaque phase joue pleinement son rôle naturel, sans que les effets de chaque liant ne soient amoindris ou annihilés par la présence de l'autre liant.

La quantité de liant organique est ajustée en fonction de la 10 destination du matériau et de la nature des granulats utilisés. Elle doit être suffisante pour permettre d'enrober les gros et/ou moyens granulats et de les lier entre eux et aux agglomérats de mortier durci, ainsi que pour assurer la maniabilité du mélange et conférer au matériau final les qualités requises de souplesse, élasticité, étanchéité, résistance à la fatigue, à la fissuration et au plumage. Cette quantité doit parallèlement 15 être minimisée pour éviter les risques de ramollissement et de ressuage. L'inventeur a montré que le procédé selon l'invention permettait de réduire, de façon significative et surprenante, la quantité de liant organique.

Lorsque le matériau est destiné à la réalisation d'une couche de roulement, un léger surdosage du liant organique peut être utile pour provoquer, au 20 cours du compactage du matériau répandu sur le sol à recouvrir, une très légère pénétration du liant organique dans les agglomérats de mortier en cours de durcissement (réalisant, au sein de la phase fine minérale, un gradient de rigidité croissant de la surface vers le cœur des agglomérats de mortier durcis). Cette pénétration intervient essentiellement sur une faible épaisseur de la couche de 25 roulement à partir de sa surface supérieure (l'excès de liant organique remontant en surface lors du compactage), ce qui a l'avantage d'introduire un gradient de rigidité croissant de la surface vers le cœur de la couche et contribue au sertissage des gravillons en surface pour améliorer la tenue au plumage sous trafic.

Il est à noter que la fraction granulaire grossière peut être enrobée à chaud ; avantageusement et selon l'invention, elle est enrobée à froid, c'est-à-dire au moyen d'un liant organique à température ambiante.

Avantageusement et selon l'invention, la fraction granulaire fine
5 utilisée présente une distribution granulométrique 0/d (granulats de dimension maximale comprise entre 0 et d mm) avec d compris entre 2 et 4 mm. Elle comprend de préférence 15 à 25% d'éléments de dimension inférieure à 80 µm.

Avantageusement et selon l'invention, la fraction granulaire
grossière utilisée présente une distribution granulométrique d/D (granulats dont les
10 dimensions maximales sont comprises entre d mm et D mm), avec d compris entre 2 et 4 mm et D compris entre 6 et 20 mm. D est préférentiellement compris entre 6 et 14 mm pour un matériau pour couche de roulement, et entre 10 et 20 mm pour un matériau pour couche de structure. En particulier, on utilise, pour une couche de roulement, une fraction granulaire grossière comprenant 25 à 35% de granulats 2/6 et
15 65 à 75% de granulats 6/14.

Par souci d'économie, on utilise une fraction granulaire grossière constituée de granulats disponibles localement, et on adapte la nature du liant organique à celle des granulats utilisés. A noter qu'un pourcentage significatif de matériaux roulés ou semi-concassés peut être valablement ajouté à des granulats locaux
20 quelconques pour former la fraction granulaire grossière, en vue d'augmenter la maniabilité de la phase grossière organique et du matériau final. Le liant organique est choisi pour sa mouillabilité et son adhésivité (active et passive), qui dépendent de la nature des granulats utilisés, ainsi que pour sa cohésivité.

Avantageusement et selon l'invention, on utilise, à titre de liant
25 organique, un liant choisi parmi un bitume pur, un bitume fluxé, un bitume fluidifié, en particulier au moyen d'une huile végétale ou d'un dope plastifiant, une émulsion d'un bitume pur, une émulsion d'un bitume fluxé, une émulsion d'un bitume fluidifié, une mousse d'un bitume pur, une mousse d'un bitume fluxé, une mousse d'un bitume fluidifié (les liants précédemment cités constituant des liants hydrocarbonés), une
30 résine thermoplastique, une émulsion de résine thermoplastique, une résine

thermodurcissable, une émulsion de résine thermodurcissable, et par exemple une résine acrylique, une résine à base de monomères et/ou polymères d'éthyle vinyle acétate, une résine à base de monomères ou polymères de styrène butadiène styrène, lesdites résines étant utilisées directement ou en émulsion, un mélange de plusieurs des
5 liants organiques précités.

A noter que l'utilisation d'un bitume pur ou d'une mousse de bitume nécessite une étape préalable de chauffage du liant, tandis que l'utilisation de l'un des autres liants organiques cités permet d'enrober la fraction granulaire grossière à froid (c'est-à-dire à température ambiante, sans chauffage).

10 Le liant organique peut également contenir un monomère et/ou un polymère et/ou un dope plastifiant adapté(s) pour renforcer son adhésivité sur les granulats, et/ou modifier sa viscosité aux fins d'une meilleure maniabilité et d'une meilleure cohésivité, et/ou accélérer la rupture de l'émulsion lorsque celle-ci est utilisée. Le liant organique peut aussi contenir un additif minéral et/ou un additif
15 organique, du type latex ou caoutchouc (notamment issu de pneus usagés) en vue d'accroître la souplesse du matériau obtenu.

On utilise préférentiellement, à titre de liant organique, une émulsion –et notamment une émulsion de bitume–, auquel cas, selon l'invention, on attend la rupture de l'émulsion dans la phase grossière organique avant de mélanger la
20 phase grossière organique et la phase fine minérale. Avantageusement et selon l'invention, on utilise, à titre de liant organique, une émulsion (de bitume par exemple) à rupture rapide ou moyenne, ayant un indice de rupture adapté pour que la rupture de l'émulsion intervienne dès l'obtention d'un mouillage, par l'émulsion, de l'ensemble des granulats de la fraction granulaire grossière. En particulier, on utilise une émulsion de
25 bitume dont la rupture intervient approximativement au bout d'une minute de mélange et malaxage de la fraction granulaire grossière et de l'émulsion de bitume (durée de mélange souhaitée, à l'issue de laquelle tous les granulats doivent être convenablement mouillés et le mélange homogène).

Avantageusement et selon l'invention, on utilise, à titre de liant
30 organique, un bitume mou (pur ou sous forme d'émulsion ou de mousse) de

pénétrabilité supérieure ou égale à 70/100, en vue d'obtenir une phase grossière organique maniable, cohésive et souple.

Il est à noter que l'enrobage des gros et/ou moyens granulats à l'aide d'un bitume mou est contraire aux enseignements de FR 2.623.219, EP 781.887 et US 5.582.639, qui préconisent à l'inverse d'enrober de gros granulats au moyen d'une émulsion de bitume dur en vue d'améliorer la rigidité de l'enrobé, et d'associer des granulats fins à une émulsion de bitume mou afin de préserver la maniabilité du matériau. Cette association est malheureuse compte tenu de la grande surface spécifique des granulats fins : elle entraîne une consommation importante de liant sans apporter de qualités mécaniques au matériau.

Dans l'invention, le liant minéral remplace avantageusement, dans la fraction fine, le bitume mou antérieurement utilisé. Il en résulte deux avantages majeurs : d'une part, une économie substantielle de liant organique et la possibilité d'augmenter le pourcentage d'éléments de dimension inférieure à 80 μm (ces éléments conférant compacité, étanchéité, durabilité... au matériau final), puisque le liant organique est associé à une fraction granulaire de faible surface spécifique et n'est pas absorbé par la fraction granulaire fine ; et d'autre part, la possibilité d'utiliser un bitume mou pour la fraction granulaire grossière, puisque la phase fine minérale formée apporte au matériau la rigidité souhaitée en comblant les vides entre les gros et/ou moyens granulats par des agglomérats de mortier particulièrement durs. L'utilisation d'un tel bitume, notamment sous forme d'émulsion, simplifie et facilite la mise en œuvre du procédé, et permet de s'affranchir d'une étape de chauffage du bitume sans entraîner une dégradation de la qualité de l'enrobage et des propriétés mécaniques du matériau obtenu. Les avantages des techniques d'enrobage à chaud sont préservés dans le cadre d'un procédé à froid selon l'invention.

Avantageusement et selon l'invention, l'émulsion de bitume utilisée contient de 50 à 70 % -de préférence 65%- de bitume en poids d'émulsion.

Avantageusement et selon l'invention, pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de roulement, on utilise, à titre de liant organique, un liant hydrocarboné à base de bitume, en une quantité telle que le poids de bitume

résiduel après mélange de la phase grossière organique et de la phase fine minérale soit compris entre 2 et 4% -de préférence entre 2,5 et 3%- du poids total d'agrégats secs. A noter que les termes "agrégats secs" désignent les granulats des fractions granulaires fine et grossière et les particules de liant minéral. L'inventeur estime que ces quantités
 5 conduisent à la présence d'un léger excès de bitume sur une fraction supérieure de la couche de roulement, évitant un plumage prématuré de ladite couche (le bitume en excès imprégnant les agglomérats de mortier sur une faible épaisseur à partir de leur surface).

Pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de structure
 10 (couche de base ou de fondation), on utilise préférentiellement , à titre de liant organique, un liant hydrocarboné à base de bitume, en une quantité telle que le poids de bitume résiduel après mélange de la phase grossière organique et de la phase fine minérale soit compris entre 1 et 3% -de préférence entre 1,5 et 2%- du poids total d'agrégats secs. Ces valeurs sont inférieures aux dosages usuels antérieurs. Elles
 15 semblent s'expliquer, a posteriori, par le fait que, selon l'invention, dans le mélange final, le liant organique ne pénètre pas dans la phase fine et n'enrobe que des ensembles compacts (gros et/ou moyens granulats et agglomérats de mortier) de faible surface spécifique. A noter qu'il n'est pas utile, si le matériau est destiné à la réalisation d'une couche de structure, de prévoir des quantités de liant conduisant à un surdosage du
 20 bitume résiduel.

Compte tenu des dosages relativement faibles préconisés selon l'invention, on utilise de préférence un bitume à fort coefficient de mouillabilité, en vue d'obtenir un bon enrobage des granulats de la fraction granulaire grossière. En variante ou en combinaison, on effectue, préalablement à leur enrobage, un pré-mouillage à
 25 l'eau des granulats de la fraction granulaire grossière. Cette opération peut être combinée à un lavage préalable de la fraction granulaire grossière, dont l'objectif est d'évacuer les éventuelles particules fines (poussière) qui subsistent dans cette fraction, en vue d'en augmenter la mouillabilité. En variante ou en combinaison, l'enrobage de la fraction granulaire grossière avec le liant organique s'effectue en plusieurs étapes :
 30 on mélange les gros granulats avec le liant organique de façon à obtenir un enrobage

partiel des gros granulats, puis on ajoute les granulats moyens et l'on mélange le tout (jusqu'à obtenir un enrobage total des gros et moyens granulats).

L'adhésivité du bitume sur les gros et/ou moyens granulats dépend de la viscosité du bitume, de son affinité pour les granulats (différente suivant la nature de ces derniers) et de la formulation de l'émulsion (présence éventuelle de tensioactifs) lorsque celle-ci est utilisée.

Avantageusement et selon l'invention, on effectue, préalablement à leur enrobage, un laquage des granulats de la fraction granulaire grossière au moyen d'une composition à base de chaux pulvérulente ou d'un lait de chaux, utilisé(e) en une quantité comprise entre 0,5 et 1,5% du poids total d'agréats secs, en vue d'augmenter l'adhésivité du bitume sur ces granulats et la résistance au vieillissement du bitume résiduel, et de contribuer à la prise de l'émulsion de bitume lorsque celle-ci est utilisée. Cette opération peut être combinée avec un pré-mouillage desdits granulats. Le terme "laquage" signifie que l'on mélange la composition à base de chaux (ou le lait de chaux) avec les granulats de façon à mouiller la surface des granulats par la composition et/ou recouvrir la surface des granulats par un film de composition.

Avantageusement et selon l'invention, on utilise, à titre de liant minéral, un liant choisi parmi un ciment (ciment Portland, ciment Portland composé, ciment de haut fourneau, ciment au laitier et aux cendres, ciment pouzzolanique...), un laitier de haut fourneau, des fines de laitiers de hauts fourneaux, un liant routier composite, un liant pouzzolanique (argiles calcinées activées par de la chaux...), des fines de pouzzolane, des cendres volantes silico-alumineuses et/ou sulfo-calciques, un mélange de plusieurs des composés précités.

Un mélange à base de métakaolin et de chaux (liant pouzzolanique) est préféré pour son pouvoir durcisseur élevé, sa prise lente qui limite les risques d'apparition de fissures, son fort indice d'activité, sa capacité à absorber les métaux lourds, sa maniabilité et son caractère environnemental naturel. Il est particulièrement recommandé si une émulsion de bitume est utilisée à titre de liant organique, compte tenu de son affinité pour l'eau, et donc de sa capacité à absorber l'eau de l'émulsion. On utilise préférentiellement une composition pulvérulente

comprenant 50 à 70% en poids de métakaolin et 30 à 50% en poids de chaux, ainsi que divers additifs éventuels.

Le liant minéral utilisé se présente préférentiellement sous forme pulvérulente, l'eau nécessaire à la prise ultérieure dudit liant provenant de l'eau d'apport ainsi que de l'émulsion (lorsqu'elle est utilisée), de l'eau de pré-mouillage des gravillons (lorsqu'une telle opération est effectuée) et de la solution de laquage préalable des gravillons (lorsqu'une telle opération est effectuée). Le liant minéral pulvérulent est mélangé tel quel à la fraction granulaire fine et à l'eau d'apport. En variante, le liant minéral est mélangé à tout ou partie de l'eau d'apport préalablement à son mélange à la fraction granulaire fine.

La quantité d'eau d'apport à ajouter est ajustée de sorte que la quantité totale d'eau disponible dans le mélange final (eau d'apport et, le cas échéant, eau de l'émulsion et/ou eau de pré-mouillage et/ou de laquage des gravillons) soit majoritairement -et de préférence entièrement- consommée par la réaction chimique du liant minéral, en vue d'obtenir une bonne tenue au jeune âge et de permettre un trafic immédiat. Une quantité d'eau résiduelle dans le mélange final des phases fine minérale et grossière organique n'excédant pas 2% en poids dudit mélange, est tolérée. La quantité d'eau d'apport utilisée varie entre 2 et 8% du poids total d'agréats secs.

La quantité de liant minéral est ajustée en fonction de la destination du matériau. Elle doit être, d'une part, suffisante pour permettre de réaliser un mélange homogène avec la fraction granulaire fine, de stabiliser les granulats fins - dans les emplacements correspondants- sous forme d'agglomérats collés aux gros et/ou moyens granulats par le liant organique, et d'apporter au matériau final les qualités requises de rigidité, compacité, portance, résistance à l'orniérage et au fluage. Elle doit être, d'autre part, minimisée pour éviter d'obtenir un matériau final trop rigide.

Ainsi, avantageusement et selon l'invention, pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de roulement, on utilise une quantité de liant minéral comprise entre 1 et 3% -de préférence environ 2 à 2,5%- du poids total d'agréats secs. Les valeurs fournies concernent la forme sèche (pulvérulente) initiale du liant minéral, que celui-ci soit ajouté à la fraction granulaire fine sous forme pulvérulente ou

mélangée à l'eau d'apport. Pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de structure (base ou fondation), on utilise préférentiellement une quantité de liant minéral comprise entre 2 et 5% -et notamment environ 3 à 3,5%- du poids total d'agréats secs. Ces valeurs sont inférieures aux dosages usuels antérieurs.

5 A noter que, si le matériau n'est pas destiné à être stocké mais est fabriqué en vue d'un épandage immédiat ou dans un court délai, un dope accélérateur de prise peut éventuellement être utilisé pour améliorer sa tenue au jeune âge et sa capacité à recevoir un trafic immédiat, favoriser la formation et la stabilité des agglomérats de mortier durci et empêcher une éventuelle migration indésirable du bitume ou autre liant organique vers la phase fine minérale (en cas d'adhérence
10 insatisfaisante de celui-ci sur les gros granulats).

Les pourcentages respectifs de chacun des deux liants varient selon la destination du matériau. Ainsi, la quantité de liant organique d'une couche de roulement est avantageusement supérieure à celle d'une couche de structure. En effet, il
15 faut plus de liant organique pour répondre aux exigences de souplesse, déformabilité, confort, étanchéité, résistance au désenrobage et au plumage de la couche de roulement, qu'il n'en faut pour permettre d'abaisser le module de rigidité jusqu'à une valeur convenable et pallier les risques de fissuration de la couche de structure. A contrario, la quantité de liant minéral d'une couche de structure est avantageusement
20 supérieure à celle d'une couche de roulement, pour conférer portance et résistance à la déformation à la couche de structure. Des quantités moindres suffisent par ailleurs pour apporter cohésion et résistance à l'orniérage et au fluage à la couche de roulement.

Ainsi, plus on s'éloigne de la surface d'une chaussée selon l'invention, plus le pourcentage de liant organique diminue et plus le pourcentage de
25 liant minéral augmente. Toutefois, selon l'invention, le pourcentage total des deux liants, en poids total d'agréats secs, reste sensiblement le même en tous points de la chaussée, c'est-à-dire qu'il reste le même pour un matériau pour couche de roulement et pour un matériau pour couche de structure.

Il est à noter que, dans tous les procédés antérieurs, les liants
30 hydrauliques sont utilisés à titre de "fillers" (particules fines destinées à remplir les

vides microscopiques existant dans le matériau) plus ou moins rigidifiants. Dans l'invention, la phase granulaire fine et le liant minéral participent à l'ossature du squelette minéral en remplissant les vides macroscopiques (et éventuellement microscopiques) entre les gravillons. Les fractions granulaires fine et grossière sont calibrées et dosées de sorte qu'au sein du mélange final, les gravillons aient au moins une face en contact et que les agglomérats de mortier durci comblient le plus exactement possible les vides entre les gravillons sans les séparer. On utilise donc le plus faible pourcentage possible de fraction granulaire fine (et de liant minéral...). Avantageusement et selon l'invention, la fraction granulaire grossière utilisée représente 55 à 70 % du poids total des fractions granulaires fine et grossière.

Avantageusement et selon l'invention, la fraction granulaire fine et le liant minéral réunis comprennent entre 6 et 15% -de préférence entre 8 et 12%- d'éléments de dimension inférieure à 80 μm , en poids total d'agréats secs.

L'invention s'étend aux matériaux routiers granulaires enrobés obtenus par un procédé selon l'invention, ainsi qu'aux couches de structure et de roulement et aux chaussées réalisées à partir de tels matériaux.

L'invention concerne également un procédé de fabrication d'un matériau routier granulaire enrobé caractérisé en combinaison par tout ou partie des caractéristiques mentionnées ci-dessus et ci-après.

D'autres buts, caractéristiques et avantages de l'invention apparaîtront à la lecture des exemples de réalisation ci-dessous, fournis à titre non limitatif.

Exemple 1 :

On prépare, selon l'invention, un matériau routier granulaire enrobé pour couche de structure, comprenant :

Fraction granulaire grossière :	granulats moyens 2/6 C	17,0 %
	gros granulats 6/14 C	42,0 %
Fraction granulaire fine :	sable 0/2 F	26,0 %
	sable 0/2,5 R	11,0 %
Liant pouzzolanique (liant minéral) :	métakaolin	2,4 %
	chaux	1,6 %
	(Total agrégats secs)	100 %
Emulsion de bitume (liant organique) à 65% d'un bitume de pénétrabilité 70/100 (soit un pourcentage de bitume résiduel de 2,6%)		4,0 %
Eau d'apport		5,5 %

La granulométrie théorique des agrégats secs de M1 (fractions granulaires fine et grossière et liant pouzzolanique) est fournie ci-dessous à titre indicatif :

5

Tamis en mm	% de passant
20	100,00
16	99,0
14	96,9
12,5	93,2
10	83,1
8	71,6
6,3	60,5
4	49,8
2	38,4
1	28,6
0,5	20,8
0,315	15,5
0,2	12,0
0,08	7,66

Il est à noter que le pourcentage d'éléments de dimension inférieure à 80 μm (qui inclut le liant minéral) se situe dans la fourchette basse de ce qui est prévu selon l'invention (entre 6 et 15%). Malgré cela, la compacité du matériau M1 obtenu s'avère très convenable (voir les résultats des essais sur chantier rapportés ci-après). Un pourcentage supérieur d'éléments inférieurs à 80 μm devrait permettre

10

d'améliorer encore la compacité du matériau et, ce faisant, sa résistance à l'orniérage, son étanchéité, sa durabilité... A cette fin, le sable roulé 0/2,5 R prévu dans la formulation de M1 peut être remplacé par un sable fillerisé 0/2 F, sans incidence notable sur la maniabilité de la phase fine minérale et du matériau final.

- 5 Le matériau, noté M1, est préparé selon le procédé suivant : on mélange la fraction granulaire grossière 2/14 et l'émulsion de bitume dans un malaxeur usuel, en ajoutant une faible portion de l'eau d'apport si nécessaire. Simultanément ou consécutivement, on mélange la fraction granulaire fine 0/2 (sable 0/2F et sable 0/2,5R) et le mélange de métakaolin et de chaux dans un malaxeur ou mélangeur usuel.
- 10 Lorsqu'un mélange homogène est obtenu entre la fraction granulaire grossière et l'émulsion de bitume (soit environ au bout d'une minute de mélange), on mélange les deux phases précédemment obtenues et l'eau d'apport restante. Pour ce faire, on incorpore la phase fine minérale et l'eau d'apport dans le premier malaxeur contenant la phase grossière organique (premier mode opératoire) ou on incorpore l'eau d'apport et
- 15 la phase grossière organique dans le deuxième malaxeur contenant la phase fine minérale (deuxième mode opératoire) ou on verse simultanément les deux phases et l'eau d'apport dans un troisième malaxeur (troisième mode opératoire). Le matériau M1 en exemple a été préparé selon le premier mode opératoire. A noter que la phase grossière organique et la phase fine minérale peuvent être préparées successivement
- 20 dans le même malaxeur (la phase préparée en premier étant momentanément stockée durant la préparation de la seconde phase), dans lequel on effectue également le mélange final.

- Il est à noter que le mélange final entre les deux phases est de préférence effectué après rupture complète de l'émulsion de bitume. Dans le présent
- 25 exemple, l'émulsion utilisée était une émulsion à rupture moyenne, et la rupture n'était pas totalement réalisée lorsque les deux phases ont été mélangées. De sorte qu'une partie du bitume n'était pas encore fixée sur les gravillons lors du mélange final. L'inventeur avait cependant tenu compte de ce phénomène en prévoyant un dosage relativement élevé en émulsion de bitume (2,6% de bitume résiduel). L'utilisation d'une
- 30 émulsion à rupture rapide devrait aisément permettre de réduire ce dosage à 1,5 ou 2%.

Essai n°1 en laboratoire sur le matériau de l'exemple 1 :

On confectionne, à partir du matériau M1, des éprouvettes de 16 cm de diamètre et 16 cm de hauteur ($\phi 16 \times 16$), que l'on écrase à 28 jours, selon le protocole décrit par la norme NF P 98-232-3 "Essai de compression diamétrale sur des matériaux traités aux liants hydrauliques et pouzzolaniques".

La résistance en traction indirecte R_{tb} (correspondant à la résistance en compression diamétrale du matériau) et le module élastique E_{tb} (également dit module de rigidité, correspondant au module sécant à 30% de la résistance en compression diamétrale du matériau) de ces éprouvettes sont mesurés et calculés conformément à cette même norme. Les résultats sont les suivants :

$$R_{tb} = 0,27 \text{ MPa}$$

$$E_{tb} = 7223 \text{ MPa}$$

Le matériau M1 selon l'invention présente avantageusement un module élastique E_{tb} inférieur à celui des graves ciments connues usuellement utilisées pour les couches de structure (qui varie entre 20 000 et 40 000). Il présente donc moins de risques de fissuration et de cassure que ces matériaux antérieurs.

A noter que la norme NF P 98-232-3, qui ne s'applique qu'aux matériaux hydrauliques, a été transposée au matériau mixte selon l'invention pour combler l'absence de norme spécifique susceptible de définir les performances mécaniques d'un tel matériau. Les résultats obtenus sont donc à analyser avec prudence. Et c'est pourquoi leur interprétation a été vérifiée par la réalisation d'un chantier expérimental et l'observation de l'évolution de ce chantier.

Exemple 2 :

On prépare, selon l'invention, un matériau routier granulaire enrobé pour couche de roulement, comprenant :

Fraction granulaire grossière :	granulats moyens 2/6 C	17,0 %
	gros granulats 6/10 C	42,0 %
Fraction granulaire fine :	sable 0/2 F	27,5 %
	sable 0/2,5 R	11,0 %
Liant pouzzolanique(liant minéral) :	métakaolin	1,5 %
	chaux	1,0 %
	(Total agrégats secs)	100 %
Emulsion de bitume (liant organique) à 65% d'un bitume de pénétrabilité 70/100 :		6,0 %
(soit un pourcentage de bitume résiduel de 3,9%)		
Eau d'apport :		5,5 %

La granulométrie théorique des agrégats secs de M2 (fractions granulaires fine et grossière et liant pouzzolanique) est fournie ci-dessous à titre indicatif :

Tamis en mm	% de passant
12,5	100,00
10	96,4
8	78,6
6,3	61,4
4	48,4
2	38,2
1	28,0
0,5	19,6
0,315	14,6
0,2	10,9
0,08	6,77

5 Comme précédemment expliqué pour M1, le pourcentage dans M2 d'éléments de dimension inférieure à 80 μm (qui inclut le liant minéral) se situe dans la fourchette basse de ce qui est prévu selon l'invention. Malgré cela, la compacité du matériau M2 obtenu s'avère très convenable (voir les résultats des essais sur chantier rapportés ci-après). Un pourcentage supérieur d'éléments inférieurs à 80 μm

10 devrait permettre d'améliorer encore la compacité du matériau et, ce faisant, sa résistance à l'orniérage, son étanchéité, sa durabilité...

Le matériau, noté M2, est préparé selon le mode opératoire suivant : on mélange la fraction granulaire grossière 2/10 et l'émulsion de bitume dans un malaxeur usuel. Simultanément ou consécutivement, on mélange la fraction granulaire fine 0/2 (sable 0/2F et sable 0/2,5R) et le mélange de métakaolin et de chaux dans un malaxeur ou mélangeur usuel. Lorsqu'un mélange homogène est obtenu entre la fraction granulaire grossière et l'émulsion de bitume (soit environ au bout d'une minute de mélange), on mélange les deux phases précédemment obtenues et l'eau d'apport, selon l'un des modes opératoires décrits dans l'exemple 1.

Le mélange final entre les deux phases est de préférence effectué après rupture de l'émulsion de bitume. Dans le présent exemple, l'émulsion utilisée était une émulsion à rupture moyenne, et la rupture n'était pas totalement réalisée lorsque les deux phases ont été mélangées. Le dosage en émulsion de bitume préconisé (3,9% de bitume résiduel) devrait aisément être réduit à 2,5 ou 3% en utilisant une émulsion à rupture rapide.

Essai n°2 en laboratoire sur le matériau de l'exemple 2 :

La tenue à l'eau et le pourcentage de vides, pour une température et un compactage donnés, du matériau M2 sont déterminés selon le protocole décrit par la norme NF P 98-251-4 "Essai Duriez sur mélanges hydrocarbonés à froid à l'émulsion de bitume".

L'essai Duriez permet d'illustrer le comportement du matériau face aux agressions de l'eau, et donc d'estimer l'adhésivité du bitume et la résistance au désenrobage du matériau.

On réalise, à partir du matériau M2, des éprouvettes de 80 mm de diamètre par compactage statique double effet. On détermine la masse volumique apparente MVA desdites éprouvettes par pesée hydrostatique et le pourcentage de vides du matériau, la résistance en compression simple R des éprouvettes après conservation à l'air pendant 14 jours -à 18°C et 50% d'hygrométrie-, la résistance en compression simple r des éprouvettes après conservation à l'air pendant 7 jours -à 18°C et 50% d'hygrométrie- puis en immersion dans l'eau pendant 7 jours supplémentaires

-également à 18%-, la tenue à l'eau du matériau s'exprimant par le rapport r/R . Les résultats sont les suivants :

$$r = 4,77 \text{ MPa}$$

$$R = 5,66 \text{ MPa}$$

$$5 \quad r/R = 0,84$$

$$\text{MVA} = 2258 \text{ g/cm}^3$$

$$\% \text{ vides} = 10,8$$

Les résistances en compression simple et la tenue à l'eau du matériau M2 sont tout à fait satisfaisantes et laissent présager un bon comportement du matériau dans le temps (cohésion, faible usure...).

Réalisation d'un chantier avec les matériaux des exemples 1 et 2 et essais consécutifs :

La chaussée d'une route menant à une déchetterie, soumise à un important trafic de véhicules de tonnages élevés, est réalisée comme suit :

15 - une épaisseur de 5 cm de granulats 0/20 est répandue sur le support pour en rectifier la planéité,

- aucune couche de fondation ou de base n'est réalisée,

- des couches de roulement adjacentes, de 9 à 10 cm d'épaisseur, sont réalisées (directement sur le support, ou plus exactement sur la couche de granulats recouvrant ce dernier) au moyen :

- 25 ◦ du matériau M1 selon l'invention (matériau pour couche de structure), sur un premier tiers de la longueur de la route définissant une planche S,
- du matériau M2 selon l'invention (matériau pour couche de roulement), sur un deuxième tiers de la longueur de la route définissant une planche P,
- d'un matériau A2, sur le troisième tiers de la longueur de la route définissant une planche Q. Ledit matériau A2 possède une formule similaire à celle de M2 (à l'exception de la proportion d'émulsion de bitume) mais a été fabriqué selon un procédé antérieur. Le matériau A2 est en effet réalisé en mélangeant simultanément, en une seule étape, l'ensemble de ses constituants dans un malaxeur usuel.

La formule du matériau A2 est donnée ci-dessous :

Fraction granulaire grossière :	granulats moyens 2/6 C	17,0 %
	gros granulats 6/10 C	42,0 %
Fraction granulaire fine :	sable 0/2 F	27,5 %
	sable 0/2,5 R	11,0 %
Liant pouzzolanique(liant minéral) :	métakaolin	1,5 %
	chaux	1,0 %
	(Total agrégats secs)	100 %
Emulsion de bitume (liant organique) à 65% d'un bitume de pénétrabilité 70/100 :		8,5 %
(soit un pourcentage de bitume résiduel de plus de 5,5%)		
Eau d'apport :		5,5 %

A noter que les granulats utilisés pour la fabrication de A2 ont les mêmes provenance, nature et distribution granulométrique que ceux utilisés pour la fabrication de M2. De même, le liant minéral de A2 est identique au liant minéral de M2, et est employé dans les mêmes proportions (en poids total d'agrégats secs). L'émulsion de bitume de A2 est également celle du matériau M2, mais elle est ajoutée en une proportion bien supérieure dans A2 pour compenser son "absorption" partielle par le sable et le liant minéral lors du mélange.

A noter également que la chaussée a été exécutée dans des conditions extrêmes : météo défavorable (pluies abondantes), assise détremmée, flaques d'eau en rives, portance médiocre du support, trafic lourd immédiat. Elle est, de plus, soumise à des conditions d'utilisation particulièrement sévères : trafic lourd permanent (2384 véhicules -8097 essieux- par mois dans les deux sens, 73 000 tonnes dans le sens entrant, 30 000 tonnes dans le sens sortant), forte pollution de la couche de roulement (boue apportée par les roues des camions). Enfin, les couches de roulement sont d'autant plus vulnérables qu'elles ne sont soutenues ni par une couche de fondation ni par une couche de base ni par des épaulements latéraux.

D'observations visuelles menées sur la chaussée deux et trois semaines après sa réalisation, il ressort que :

- un carottage des planches S et P a été réalisé à 14 jours,
 - le carottage de la planche Q n'a pu être effectué qu'à l'issue de la troisième semaine,

5 - les planches S et P selon l'invention présentent un bon comportement sous trafic,

- la planche Q présente des ornières dans le sens entrant des camions,

- les planches S et P présentent une bonne texture et offrent une impression favorable vis-à-vis du plumage,

10 - la planche Q est l'objet de départ de gravillons au niveau des bandes de roulement.

Pour confirmer ces impressions initiales, des carottes sont prélevées sur chaque planche, alors âgée de 3 mois, pour en déterminer, d'une part, la compacité, et, d'autre part, les caractéristiques mécaniques selon la norme NF P 98-232-3 (voir Essai n°1 ci-dessus). Les résultats sont les suivants :

15 Planche S (matériau M1 selon l'invention pour couche de structure) :

$MVR = 2548 \text{ g/cm}^3$ (masse volumique réelle)

$MVA = 2343 \text{ g/cm}^3$ (masse volumique apparente)

compacité = 91,9 % (soit 8,1 % de vides)

20 $R_{tb} = 1,05 \text{ MPa}$

$E_{tb} = 6725 \text{ MPa}$

Planche P (matériau M2 selon l'invention pour couche de roulement) :

$MVR = 2502 \text{ g/cm}^3$

$MVA = 2279 \text{ g/cm}^3$

25 compacité = 91,1 % (soit 8,9 % de vides)

$R_{tb} = 0,67 \text{ MPa}$

$E_{tb} = 3821 \text{ MPa}$

Planche Q (matériau A2 selon un procédé antérieur, pour couche de roulement) :

$MVR = 2449 \text{ g/cm}^3$

30 $MVA = 2249 \text{ g/cm}^3$

compacité = 91,8 % (soit 8,2 % de vides)

$R_{tb} = 0,40 \text{ MPa}$

$E_{tb} = 3826 \text{ MPa}$

La compacité des matériaux M1, M2 et A2 est tout à fait satisfaisante.

Les résultats concernant les caractéristiques mécaniques (R_{tb} et E_{tb}) des matériaux doivent être interprétés avec précaution, compte tenu que les essais de compression diamétrale normalisés pratiqués ne s'appliquent pas aux enrobés hydrocarbonés à froid (ils concernent les matériaux hydrauliques) et sont normalement réalisés sur des éprouvettes élaborées en laboratoire (selon la norme NF P 98-230-1 ou NF P 98-230-2) et non sur des carottes prélevées sur chantier.

On constate toutefois que la planche S selon l'invention présente, d'une part, une résistance en traction indirecte similaire à celle des graves ciments connues, et, d'autre part, un module élastique inférieur à celui des graves ciments connues (usuellement compris entre 20000 et 30000 MPa). Ces performances mécaniques révèlent un matériau qui, non seulement conserve une portance convenable, mais de plus est dépourvu des défauts majeurs des matériaux antérieurs, liés à leur module élastique trop élevé : problèmes importants de fissuration, inconfort, défaut de planéité, qui nécessitent l'emploi d'artifices coûteux tels que des armatures, joints de dilatation...

On constate, par ailleurs, que la planche P selon l'invention combine une bonne résistance en traction indirecte et un module élastique peu élevé mais suffisant, de sorte que la couche de roulement obtenue est à la fois souple et résistante à l'orniérage.

A contrario, la planche Q, dont la déformabilité est correcte (module élastique convenable), présente une résistance en traction trop faible. En outre, on constate que les modules élastiques des matériaux M2 et A2 sont du même ordre, alors que le matériau A2 contient un pourcentage bien supérieur de bitume résiduel. En d'autres termes, une souplesse identique et une résistance à l'orniérage supérieure à celle de la planche Q sont obtenues pour la planche P avec moins de bitume. Ce

résultat tend à confirmer le principe énoncé par l'inventeur, selon lequel une partie du bitume du matériau A2 (planche Q) est défavorablement absorbé par la fraction fine et le liant minéral, et n'est pas utile pour les caractéristiques mécaniques et de souplesse du matériau.

5 Ces résultats sont à rapprocher des observations visuelles rapportées ci-dessus et des tests suivants relatifs à l'orniérage et à la macrotexture des couches de roulement, qui confirment les conclusions précédentes.

Des mesures d'orniérage sont menées sur les planches S, P et Q âgées de 3 mois, en des zones fortement sollicitées (bandes de passage des roues des
10 véhicules). Ces mesures indiquent la profondeur d'effondrement, dite profondeur d'orniérage, de la chaussée sous une règle de 1 m.

La profondeur d'orniérage de la planche S (couche de structure selon l'invention) varie entre 4 et 10 mm, et est en moyenne égale à 6 mm sur la voie entrant dans la déchetterie et à 4,6 mm sur la voie sortant de la déchetterie.

15 La profondeur d'orniérage de la planche P (couche de roulement selon l'invention) varie entre 2 et 5 mm, et est en moyenne égale à 3,2 mm sur la voie entrante et à 2,6 mm sur la voie sortante.

La profondeur d'orniérage de la planche Q varie entre 10 et 15 mm, et est en moyenne égale à 12,5 mm.

20 Les matériaux M1 et M2 selon l'invention (et en particulier le matériau M2) affichent donc une très bonne résistance à l'orniérage, manifestement meilleure que celle du matériau A2 préparé selon un procédé antérieur. Les matériaux selon l'invention sont aptes à supporter un trafic immédiat, intense et lourd.

Des études sont par ailleurs pratiquées pour déterminer la
25 macrotexture superficielle des planches S, P et Q, alors âgées de 4 mois. Pour ce faire, la hauteur au sable vraie HSv est mesurée conformément à la norme NF P98-216-1 en plusieurs points desdites planches.

La hauteur au sable vraie moyenne mesurée pour la planche S selon l'invention est de 0,74 (elle est de 0,73 sur la voie entrante et de 0,75 sur la voie
30 sortante).

La hauteur au sable vraie moyenne mesurée pour la planche P selon l'invention est de 0,61 (elle est de 0,60 sur la voie entrante et de 0,62 sur la voie sortante).

5 La hauteur au sable vraie moyenne mesurée pour la planche Q est de 0,98 sur la voie entrante et de 0,77 sur la voie sortante.

Bien que la norme NF P98-216-1 ne fixe aucune plage de valeurs recommandées pour la HSV, il est coutume de dire qu'une macrotexture de chaussée convenable doit conduire à une hauteur au sable vraie comprise entre 0,6 et 0,75. Les planches S et P selon l'invention (et en particulier la planche P) présentent donc une
10 macrotexture convenable.

En revanche, une HSV supérieure à 0,75, telle que celle de la planche Q, est un signe de désordre, d'arrachage et de plumage de la couche de roulement, dus à une structure du matériau trop ouverte.

Les matériaux selon l'invention présentent donc une résistance
15 accrue au plumage et au désenrobage comparés aux matériaux antérieurs, qui a pu être constatée visuellement.

L'ensemble des tests menés a permis à l'inventeur de définir des moyens empiriques d'estimation de la qualité d'un matériau selon l'invention lorsqu'il est enrobé à froid, dont l'utilisation pourrait être généralisée à l'ensemble des matériaux
20 mixtes. C'est ainsi que l'inventeur estime que les mesures du module élastique et, le cas échéant, de la résistance en traction indirecte pourraient constituer des indicateurs fiables pour l'appréciation des critères relatifs à la rigidité (portance, résistance à l'orniérage...), tandis que la mesure de la résistance en compression simple pourrait être valablement utilisée pour estimer la cohésion des matériaux et leur capacité à recevoir
25 un trafic immédiat.

Et l'inventeur a déterminé, d'une part, qu'un matériau selon l'invention ayant un module élastique compris entre 6500 et 12000 MPa et une résistance en traction indirecte comprise entre 0,8 et 1,2 MPa est particulièrement approprié aux couches de structure. Il a déterminé, d'autre part, que la combinaison,
30 pour un matériau selon l'invention, d'un module élastique compris entre 3000 et

6000 MPa, d'une résistance en traction indirecte comprise entre 0,5 et 1 MPa et d'une résistance en compression simple R comprise entre 5 et 8 MPa, qualifie un matériau particulièrement approprié aux couches de roulement. Ces plages de valeurs couvrent toutes les classes de chaussée.

- 5 Il va de soi que l'invention peut faire l'objet de nombreuses variantes par rapport aux exemples précédemment décrits.

REVENDEICATIONS

1/- Procédé de fabrication d'un matériau routier granulaire enrobé, utilisant au moins un liant organique et au moins un liant minéral, caractérisé en ce que :

- 5 - on utilise au moins deux fractions granulaires distinctes, une première fraction, dite fraction granulaire grossière, constituée de gros et/ou moyens granulats, et une deuxième fraction, dite fraction granulaire fine, constituée de granulats fins,
- 10 - on enrobe les granulats de la fraction granulaire grossière avec le liant organique, de façon à former une première phase, dite phase grossière organique,
- on mélange les granulats de la fraction granulaire fine avec le liant minéral et avec une quantité d'eau d'apport, de façon à former une deuxième phase, dite phase fine minérale,
- 15 - on mélange la phase grossière organique et la phase fine minérale pour obtenir un matériau prêt à l'épandage ou au stockage.

2/- Procédé selon la revendication 1, caractérisé en ce que la fraction granulaire grossière est enrobée à froid.

- 20 3/- Procédé selon l'une des revendications 1 ou 2, caractérisé en ce que la fraction granulaire grossière présente une distribution granulométrique d/D , avec d compris entre 2 et 4 mm, et D compris entre 6 et 20 mm.

4/- Procédé selon l'une des revendications 1 à 3, caractérisé en ce que la fraction granulaire fine présente une distribution granulométrique $0/d$, avec d compris entre 2 et 4.

- 25 5/- Procédé selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant organique, un liant choisi parmi un bitume pur, un bitume fluxé, un bitume fluidifié, une émulsion d'un bitume pur, une émulsion d'un bitume fluxé, une émulsion d'un bitume fluidifié, une mousse d'un bitume pur, une mousse d'un bitume fluxé, une mousse d'un bitume fluidifié, une résine thermoplastique, une émulsion d'une résine thermoplastique, une résine
- 30

thermodurcissable, une émulsion d'une résine thermodurcissable, une résine acrylique, une résine à base de monomères ou polymères d'éthyle vinyle acétate, une résine à base de monomères et/ou polymères de styrène butadiène styrène, une émulsion de l'une des résines précitées, un mélange de plusieurs des liants organiques précités.

5 6/ - Procédé selon la revendication 5, caractérisé en ce que l'on utilise une émulsion à titre de liant organique, et en ce que l'on attend la rupture de l'émulsion dans la phase grossière organique avant de mélanger la phase grossière organique et la phase fine minérale.

10 7/ - Procédé selon la revendication 6, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant organique, une émulsion à rupture rapide ou moyenne, ayant un indice de rupture adapté pour que la rupture de l'émulsion intervienne dès l'obtention d'un mouillage, par l'émulsion, de l'ensemble des granulats de la fraction granulaire grossière.

15 8/ - Procédé selon l'une des revendications 5 à 7, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant organique, une émulsion d'un bitume mou de pénétrabilité supérieure ou égale à 70/100.

20 9/ - Procédé selon l'une des revendications 5 à 8 pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de roulement, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant organique, un liant hydrocarboné à base de bitume, en une quantité telle que le poids de bitume résiduel après mélange de la phase grossière organique et de la phase fine minérale soit compris entre 2 et 4% du poids total d'agréats secs.

25 10/ - Procédé selon l'une des revendications 5 à 8 pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de structure, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant organique, un liant hydrocarboné à base de bitume, en une quantité telle que le poids de bitume résiduel après mélange de la phase grossière organique et de la phase fine minérale soit compris entre 1 et 3% du total poids d'agréats secs.

30 11/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que l'enrobage de la fraction granulaire grossière s'effectue en plusieurs étapes :

on mélange les gros granulats avec le liant organique de façon à obtenir un enrobage partiel des gros granulats, puis on ajoute les granulats moyens et l'on mélange le tout.

12/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 11, caractérisé en ce que l'on effectue, préalablement à leur enrobage, un laquage des granulats de la fraction granulaire grossière au moyen d'une composition à base de chaux pulvérulente ou d'un lait de chaux, utilisé(e) en une quantité comprise entre 0,5 et 1,5% du poids total d'agréats secs.

13/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 12, caractérisé en ce que l'on utilise, à titre de liant minéral, un liant pouzzolanique comprenant 50 à 70% en poids de métakaolin et 30 à 50% en poids de chaux.

14/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 13, caractérisé en ce que l'on utilise une quantité d'eau d'apport comprise telle que la quantité d'eau résiduelle dans le mélange des phases fine minérale et grossière organique n'excède pas 2% en poids dudit mélange.

15/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 14 pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de roulement, caractérisé en ce que l'on utilise une quantité de liant minéral comprise entre 1 et 3% du poids total d'agréats secs.

16/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 14 pour la réalisation d'un matériau routier pour couche de structure, caractérisé en ce que l'on utilise une quantité de liant minéral comprise entre 2 et 5% du poids total d'agréats secs.

17/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 16, caractérisé en ce que la fraction granulaire grossière représente 55 à 70 % du poids total des fractions granulaires fine et grossière.

18/ - Procédé selon l'une des revendications 1 à 17, caractérisé en ce que la fraction granulaire fine et le liant minéral réunis comprennent entre 6 et 15%, en poids total d'agréats secs, d'éléments de dimension inférieure à 80 μm .



BREVET D'INVENTION

CERTIFICAT D'UTILITÉ

Code de la propriété intellectuelle - Livre VI

N° 11235*03

DÉPARTEMENT DES BREVETS

6 bis, rue de Saint Pétersbourg
5800 Paris Cedex 08
téléphone : 33 (1) 53 04 53 04 Télécopie : 33 (1) 42 94 86 54

DÉSIGNATION D'INVENTEUR(S) Page N° .1. / .1.

(À fournir dans le cas où les demandeurs et les inventeurs ne sont pas les mêmes personnes)

Cet imprimé est à remplir lisiblement à l'encre noire

DB 113 W / 270501

Vos références pour ce dossier (facultatif)	DE 1463 - BF 10116 K1	VG/MCN
N° D'ENREGISTREMENT NATIONAL		
TITRE DE L'INVENTION (200 caractères ou espaces maximum)		

0214603
PROCÉDE DE FABRICATION, NOTAMMENT A FROID, D'UN ENROBE, ET ENROBE OBTENU PAR LA MISE EN ŒUVRE DE CE PROCÉDE.

LE(S) DEMANDEUR(S) :

DE METER TECHNOLOGIES
Société anonyme
31, avenue de Larrieu
31081 TOULOUSE CEDEX

DESIGNE(NT) EN TANT QU'INVENTEUR(S) :

1	Nom	RAYNAUD	
	Prénoms	Gilbert	
Adresse	Rue	80bis, chemin de Brioudes	
	Code postal et ville	31600 MURET	
Société d'appartenance (facultatif)			
2	Nom		
	Prénoms		
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			
3	Nom		
	Prénoms		
Adresse	Rue		
	Code postal et ville		
Société d'appartenance (facultatif)			

S'il y a plus de trois inventeurs, utilisez plusieurs formulaires. Indiquez en haut à droite le N° de la page suivi du nombre de pages.

DATE ET SIGNATURE(S)
DU (DES) DEMANDEUR(S)
OU DU MANDATAIRE
(Nom et qualité du signataire)

CABINET
BARRE LAFORGUE
& associés

PROPRIÉTÉ INDUSTRIELLE EN FRANCE ET À L'ÉTRANGER
95, rue des amidonniers 31000 TOULOUSE

Le Mandataire Camille SAILHAN CPI N° 92.1219